

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-082045

(43)Date of publication of application : 22.03.2002

(51)Int.Cl.

G01N 21/17

A61B 10/00

G01B 9/02

G01B 11/00

(21)Application number : 2000-274123

(71)Applicant : JAPAN SCIENCE & TECHNOLOGY  
CORP

(22)Date of filing : 08.09.2000

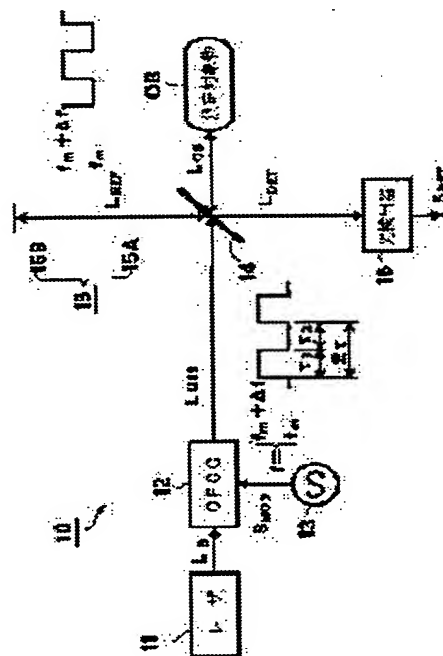
(72)Inventor : KOROGI MOTONOBU  
NAKAMOTO OSAMU  
BANBAN WIDEYATTOMOKO

## (54) PHOTOMETRIC SYSTEM

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To stably take measurements with spatially high resolution in a short time by means of a simple arrangement using one frequency COM generator.

**SOLUTION:** This system comprises a source 11 of laser beams serving as a light source which emits a coherent light beam L0; a light frequency COM generator 12 on which the laser beam L0 impinges from the source 11; a modulation signal generator 13 for generating a modulation signal SMOD imparted to the light frequency COM generator 12; a light separator and synthesizer 14 for separating and synthesizing a reference light beam LREF from and with an object light beam LOB; a light delay path 15 providing a delay of a predetermined time  $\tau$  to the reference light beam LREF separated from the object light beam LOB by the light separator and synthesizer 14; and a photodetector 16 for detecting changes in intensity of light caused by interference between the reference light beam LREF and the object light beam LOB synthesized with each other by the light separator and synthesizer 14.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

14.02.2002

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision  
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2002-82045

(P2002-82045A)

(43)公開日 平成14年3月22日(2002.3.22)

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テ-マコ-ト <sup>*</sup> (参考)
G 0 1 N 21/17	6 3 0	G 0 1 N 21/17	6 3 0 2 F 0 6 4
A 6 1 B 10/00		A 6 1 B 10/00	E 2 F 0 6 5
G 0 1 B 9/02		G 0 1 B 9/02	2 G 0 5 9
11/00		11/00	G

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 15 頁)

(21)出願番号 特願2000-274123(P2000-274123)

(22)出願日 平成12年9月8日(2000.9.8)

(71)出願人 396020800

科学技術振興事業団

埼玉県川口市本町4丁目1番8号

(72)発明者 興梠 元伸

神奈川県横浜市旭区若葉台4-28-905

(72)発明者 仲本 修

東京都大田区蒲田3-3-4

(72)発明者 パンパン ウィディヤットモコ

神奈川県横浜市緑区長津田町3034-3

(74)代理人 100067736

弁理士 小池 晃 (外2名)

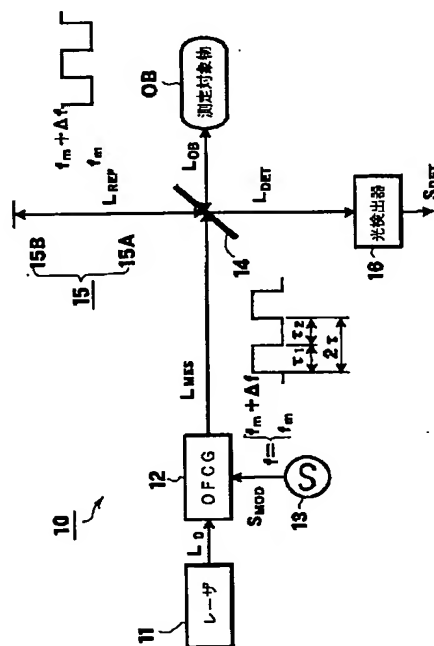
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 光計測システム

(57)【要約】

【課題】 1台の周波数コム発生器を用いた簡単な構成で短時間に且つ安定に空間的高分解能な測定を行う。

【解決手段】 可干渉性を有する光 $L$ を出射する光源であるレーザ光源11と、このレーザ光源11からレーザ光 $L$ が入射される光周波数コム発生器12と、この光周波数コム発生器12に与える変調信号 $S_{MOD}$ を発生する変調信号発生器13と、参照光 $L_{REF}$ と物体光 $L_{OBJ}$ の分離・合成を行う光分離・合成器14と、上記光分離・合成器14により分離された参照光 $L_{REF}$ に所定時間 $\tau$ の遅延を与える光遅延路15と、上記光分離・合成器14により合成された参照光 $L_{REF}$ と物体光 $L_{OBJ}$ との干渉による光強度の変化を検出する光検出器16とからなる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 可干渉性を有する光を出射する光源と、  
 第 1 の期間  $\tau_1$  には第 1 の周波数  $f_1$  で第 2 の期間  $\tau_2$  には第 2 の周波数  $f_2 + \Delta f$  の変調信号を所定の繰り返し周期で生成する変調信号生成手段と、  
 上記変調信号生成手段からの変調信号により上記光源からの入射光を変調して、入射光の周波数を中心周波数とし、上記第 1 の期間  $\tau_1$  には第 1 の周波数  $f_1$ 、間隔毎に側帯波を有し、第 2 の期間  $\tau_2$  には第 2 の周波数  $f_2 + \Delta f$  間隔毎に側帯波を有する計測光を生成する光周波数コム発生手段と、  
 上記光周波数コム発生手段からの計測光を参照光と物体光に分離する光分離手段と、  
 上記光分離手段により分離された参照光又は物体光の一方に所定時間の遅延を与える光遅延手段と、  
 上記物体光の測定対象物による反射光又は透過光と上記参照光とを合成する光合成手段と、  
 上記光合成手段により合成された上記参照光と物体光との干渉による光強度の変化を検出する検出手段とを備えることを特徴とする光計測システム。  
 【請求項 2】 上記光遅延手段は光ファイバーからなることを特徴とする請求項 1 記載の光計測システム。  
 【請求項 3】 上記光周波数コム発生器により生成された計測光を、光増幅手段により非線形性を発生する程度まで増幅して、スーパーコンティニウムファイバーを介して上記光分離手段に入射させるようにしたことを特徴とする請求項 1 記載の光計測システム。  
 【請求項 4】 可干渉性を有する光を出射する光源と、  
 第 1 の期間  $\tau_1$  には第 1 の周波数  $f_1$  で第 2 の期間  $\tau_2$  には第 2 の周波数  $f_2 + \Delta f$  の変調信号を所定の繰り返し周期で生成する変調信号生成手段と、  
 上記変調信号生成手段からの変調信号により上記光源からの入射光を変調して、入射光の周波数を中心周波数とし、上記第 1 の期間  $\tau_1$  には第 1 の周波数  $f_1$ 、間隔毎に側帯波を有し、第 2 の期間  $\tau_2$  には第 2 の周波数  $f_2 + \Delta f$  間隔毎に側帯波を有する計測光を生成する光周波数コム発生手段と、  
 上記光周波数コム発生手段からの計測光を参照光と物体光に分離する光分離手段と、  
 上記光分離手段により分離された参照光又は物体光の一方に所定時間の遅延を与える光遅延手段と、  
 上記光分離手段により分離された物体光の照射位置を測定対象物上で走査する走査手段と、  
 上記測定対象物により反射された物体光と上記参照光とを合成する光合成手段と、  
 上記光合成手段により合成された上記参照光と物体光との干渉による光強度の変化を検出する検出手段と、  
 上記検出手段からの干渉検出結果に基づいて、測定対象物の形状情報を検出する形状検出手段と、  
 上記走査手段で走査されることで、上記形状検出手段で

生成された複数の形状情報を用いて、測定対象物の形状を示す画像を生成する画像生成手段とを備えることを特徴とする光計測システム。

【請求項 5】 上記光遅延手段は光ファイバーからなることを特徴とする請求項 4 記載の光計測システム。

【請求項 6】 上記光周波数コム発生器により生成された計測光を、光増幅手段により非線形性を発生する程度まで増幅して、スーパーコンティニウムファイバーを介して上記光分離手段に入射させるようにしたことを特徴とする請求項 5 記載の光計測システム。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、任意の波長における広いスペクトル幅を必要とする光計測システムに関し、特に高速且つ高分解能な測定を実現するための光計測システムに関する。

【0002】

【従来の技術】従来、空間的高分解能な測定を実現するための光計測システムとして、光コヒーレントトモグラフィ (OCT: Optical Coherence Tomography) 装置に代表される任意の波長域における広いスペクトル幅を必要とする光計測システムが知られている。

【0003】上記 OCT 装置としては、例えば図 13 に示すようなものがある。この OCT 装置は、可干渉距離が短い光源 1101 から出射した光 L1101 をビームスプリッタ 1102 で物体光 L1102 と参照光 L1103 とに分割する。物体光 L1102 は、スキャナ 1103 を介して測定試料 S で反射されて物体光 L1104 とされ再びビームスプリッタ 1102 に入射される。また、参照光 L1103 は、周波数シフタ 1104 を介してモータ 1106 で位置決めされた参照光用ミラー 1105 で反射されて再びビームスプリッタ 1102 に入射される。

【0004】物体光 L1104 と参照光 L1103 とは、ビームスプリッタ 1102 に入射されることで合成され、干渉光 L1105 として光検出器 1107 に入射される。光検出器 1107 では、物体光 L1104 と参照光 L1103 との干渉により光強度が変調された干渉光を検出して検出信号を生成する。検出信号は信号処理回路 1108 で例えばフィルタリング、A/D 変換されて制御部 1109 に入力される。制御部 1109 では、入力された信号に基づいて、例えば測定試料 S の内部構造を示す画像を測定結果として生成する。また、制御部 1109 では、入力された信号やモータ 1106 からのフィードバック信号に基づいてモータ駆動回路 1110 を制御してモータ 1106 を駆動する。また、制御部 1109 では、測定試料 S の表面上で物体光 L1102 を走査させるようにスキャナ 1103 を制御する。

【0005】このような構成の OCT 装置 1000 では、測定試料 S を Z 方向又は参照用ミラー 1105 を X

方向に移動させて、測定試料S又は参照用ミラー1105が移動した距離を求めることにより、測定試料Sの深さ方向における反射率分布を得る。これにより、OCT装置1000は、深さ方向における反射率分布を得ることで、測定試料Sの断層計測を行って測定試料Sの内部形状及び外部形状を測定することができる。このOCT装置1000では、例えば赤色～近赤外の波長領域の光を用いることにより、生体内部の観測に用いることができる。

【0006】また、従来のOCT装置1000において、可干渉距離の短い光源1101としてパルスレーザを出射したときには、参照用ミラー1105で反射するパルスのタイミングが合うことにより干渉が発生した成分を用いて測定試料Sの内部構造を観測することもできる。

【0007】このようにOCT装置1000では、物体の内部構造、屈折率や厚さ等、空間的高分解能な測定を実現することができる。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】しかし、OCT装置では、測定対象の表面形状や深さ方向の情報を得るために機械的な参照光の遅延距離を変調することを必要としたために、測定に多大な時間がかかるという不具合があった。

【0009】すなわち、従来のOCT装置1000では、通常、光源1101が単一であるために、参照用ミラー1105のX方向における位置を機械的に制御して干渉を制御しなければならなかった。ここで、参照用ミラー1105の動作速度には限界があり、従来のOCT装置1000では、測定試料Sを測定するのに多大な時間を要することが多かった。

【0010】更に、従来において、光周波数変調干渉法(Optical Frequency Domain Reflectometry: OFDR)と称される手法を適用したトモグラフィー装置が提案されているが、現実には使用するレーザの周波数を広範囲に掃引する必要があり、このときに機械的駆動が用いられている。

【0011】そこで、本発明は、上述したような実情に鑑みて提案されたものであり、1台の周波数コム発生器を用いた簡単な構成で短時間に且つ安定に空間的高分解能な測定を行うことができる光計測システムを提供することを目的とする。

【0012】

【課題を解決するための手段】本発明に係る光計測システムは、可干渉性を有する光を出射する光源と、第1の期間 $\tau_1$ には第1の周波数 $f_1$ 、第2の期間 $\tau_2$ には第2の周波数 $f_2 + \Delta f$ の変調信号を所定の繰り返し周期で生成する変調信号生成手段と、上記変調信号生成手段からの変調信号により上記光源からの入射光を変調して、入射光の周波数を中心周波数とし、上記第1の期間

$\tau_1$ には第1の周波数 $f_1$ 、間隔毎に側帯波を有し、第2の期間 $\tau_2$ には第2の周波数 $f_2 + \Delta f$ 間隔毎に側帯波を有する計測光を生成する光周波数コム発生手段と、上記光周波数コム発生手段からの計測光を参照光と物体光に分離する光分離手段と、上記光分離手段により分離された参照光又は物体光の一方に所定時間の遅延を与える光遅延手段と、上記物体光の測定対象物による反射光又は透過光と上記参照光とを合成する光合成手段と、上記光合成手段により合成された上記参照光と物体光との干渉による光強度の変化を検出する検出手段とを備えることを特徴とする。

【0013】また、本発明に係る光計測システムは、可干渉性を有する光を出射する光源と、第1の期間 $\tau_1$ には第1の周波数 $f_1$ 、第2の期間 $\tau_2$ には第2の周波数 $f_2 + \Delta f$ の変調信号を所定の繰り返し周期で生成する変調信号生成手段と、上記変調信号生成手段からの変調信号により上記光源からの入射光を変調して、入射光の周波数を中心周波数とし、上記第1の期間 $\tau_1$ には第1の周波数 $f_1$ 、間隔毎に側帯波を有し、第2の期間 $\tau_2$ には第2の周波数 $f_2 + \Delta f$ 間隔毎に側帯波を有する計測光を生成する光周波数コム発生手段と、上記光周波数コム発生手段からの計測光を参照光と物体光に分離する光分離手段と、上記光分離手段により分離された参照光又は物体光の一方に所定時間の遅延を与える光遅延手段と、上記光分離手段により分離された物体光の照射位置を測定対象物上で走査する走査手段と、上記測定対象物により反射された物体光と上記参照光とを合成する光合成手段と、上記光合成手段により合成された上記参照光と物体光との干渉による光強度の変化を検出する検出手段と、上記検出手段からの干渉検出結果に基づいて、測定対象物の形状情報を検出する形状検出手段と、上記走査手段で走査されることで、上記形状検出手段で生成された複数の形状情報を用いて、測定対象物の形状を示す画像を生成する画像生成手段とを備えることを特徴とする。

【0014】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態について図面を参照しながら詳細に説明する。

【0015】本発明に係る光計測システムでは、例えば図1に示すように原理的に1個の光周波数コム発生器(Optical Frequency Comb Generator)を用いて、光コヒーレントトモグラフィー(OCT: Optical Coherence Tomography)装置10を構成する。

【0016】このOCT装置10は、その原理的な構成を図1に示すように、可干渉性を有する光 $L_0$ を出射する光源であるレーザ光源11と、このレーザ光源11からレーザ光 $L_1$ が入射される光周波数コム発生器12と、この光周波数コム発生器12に与える変調信号 $S_{mod}$ を発生する変調信号発生器13と、参照光 $L_{ref}$ と物体光 $L_{obj}$ の分離・合成を行う光分離・合成器14と、

上記光分離・合成器 14 により分離された参照光  $L_{REF}$  に所定時間  $\tau$  の遅延を与える光遅延路 15 と、上記光分離・合成器 14 により合成された参照光  $L_{REF}$  と物体光  $L_{OBJ}$  との干渉による光強度の変化を検出する光検出器 16 とからなる。この OCT 装置 10 において、レーザ光源 11 は、可干渉性を有し所定の周波数のレーザ光  $L$  を発生する。このレーザ光源 11 により発生されたレーザ光  $L$  は、光周波数コム発生器 12 に入射される。

【0017】光周波数コム発生器 12 は、上記レーザ光源 11 により発生されたレーザ光  $L$  を変調信号発生器 13 により与えられる変調信号  $S_{MOD}$  で変調することにより、上記レーザ光  $L$  の周波数を中心周波数とし、上記変調信号  $S_{MOD}$  の周波数間隔毎に側帯波（サイドバンド）を有する計測光  $L_{MEAS}$  を生成する。この光周波数コム発生器 12 は、例えば EOM（電気光学変調器）と当該 EOM を挟むように対向して配設された反射鏡とからなり、EOM と反射鏡で光発振器を構成してなる。

【0018】変調信号発生器 13 は、第 1 の期間  $\tau_1$  には第 1 の周波数  $f_1$  で第 2 の期間  $\tau_2$  には第 2 の周波数  $f_2 + \Delta f$  の変調信号  $S_{MOD}$  を所定の繰り返し周期で発生する。ここでは  $\tau_1 = \tau_2 = \tau$  とし、 $2\tau$  の繰り返し周期で第 1 の周波数  $f_1$  と第 2 の周波数  $f_2 + \Delta f$  の変調信号  $S_{MOD}$  を上記変調信号発生器 13 は発生するものとする。

【0019】この変調信号発生器 13 により発生された変調信号  $S_{MOD}$  が与えられる上記光周波数コム発生器 12 では、第 1 の周波数  $f_1$  の変調信号  $S_{MOD}$  が与えられる第 1 の期間  $\tau_1$  には、レーザ光  $L$  の周波数を中心周波数  $\nu$  として、第 1 の周波数  $f_1$  の等周波数間隔で側帯波を発生させ、中心周波数  $\nu$  から  $k f_1$  ( $k = -m, -m+1, -m+2, \dots, 0, 1, 2, \dots, n$ ) の周波数成分の側帯波を有する計測光  $L_{MEAS}$  を生成し、また、第 2 の周波数  $f_2 + \Delta f$  の変調信号  $S_{MOD}$  が与えられる第 2 の期間  $\tau_2$  には、レーザ光  $L$  の周波数を中心周波数  $\nu$  として、第 2 の周波数  $f_2 + \Delta f$  の等周波数間隔で側帯波を発生させ、中心周波数  $\nu$  から  $k (f_2 + \Delta f)$  ( $k = -m, -m+1, -m+2, \dots, 0, 1, 2, \dots, n$ ) の周波数成分の側帯波を有する計測光  $L_{MEAS}$  を生成する。この光周波数コム発生器 12 により生成された計測光  $L_{MEAS}$  は、光分離・合成器 14 に入射される。

【0020】光分離・合成器 14 は、例えばハーフミラーにより構成され、上記光周波数コム発生器 12 により生成された計測光  $L_{MEAS}$  を参照光  $L_{REF}$  と物体光  $L_{OBJ}$  に分離する。この光分離・合成器 14 により分離された参照光  $L_{REF}$  は、光遅延路 15 により所定時間の遅延を与えられて、当該光分離・合成器 14 に再度入射される。また、この光分離・合成器 14 により分離された物体光  $L_{OBJ}$  は、測定対象物 OB に照射され、その反射光が当該光分離・合成器 14 に再度入射される。そして、この光

分離・合成器 14 は、上記光遅延路 15 により所定時間の遅延を与えられた参照光  $L_{REF}$  と測定対象物 OB で反射された物体光  $L_{OBJ}$  を合成した干渉光  $L_{DET}$  を光検出器 16 に出射する。

【0021】ここで、上記光遅延路 15 は、上記変調信号発生器 13 で発生される変調信号  $S_{MOD}$  の繰り返し周期  $2\tau$  の半分の時間に等しい  $\tau$  時間の遅延を上記光分離・合成器 14 により分離された参照光  $L_{REF}$  に与える。この光遅延路 15 は、例えば終端が全反射ミラー 15B とされ片道で  $\tau/2$  時間の遅延量を与える長さの光ファイバー 15A により構成される。

【0022】このような構成の光計測システムでは、上記変調信号発生器 13 で発生される変調信号  $S_{MOD}$  の繰り返し周期  $2\tau$  の半分の時間に等しい  $\tau$  時間の遅延を上記光分離・合成器 14 により分離された参照光  $L_{REF}$  に与えることにより、上記光分離・合成器 14 において、物体光  $L_{OBJ}$  が第 1 の周波数  $f_1$  で変調されている第 1 の期間  $\tau_1$  には、上記第 1 の周波数  $f_1$  で変調された物体光  $L_{OBJ}$  が第 2 の周波数  $f_2 + \Delta f$  で変調された参照光  $L_{REF}$  と合成され、また、物体光  $L_{OBJ}$  が第 2 の周波数  $f_2 + \Delta f$  で変調されている第 2 の期間  $\tau_2$  には、上記第 2 の周波数  $f_2 + \Delta f$  で変調された物体光  $L_{OBJ}$  が第 1 の周波数  $f_1$  で変調された参照光  $L_{REF}$  と合成されることになる。

【0023】ここでは  $\tau_1 = \tau_2 = \tau$  とし、 $2\tau$  の繰り返し周期で第 1 の周波数  $f_1$  と第 2 の周波数  $f_2 + \Delta f$  の変調信号  $S_{MOD}$  を上記変調信号発生器 13 は発生するものとし、上記変調信号発生器 13 で発生される変調信号  $S_{MOD}$  の繰り返し周期  $2\tau$  の半分の時間に等しい  $\tau$  時間の遅延を上記光分離・合成器 14 により分離された参照光  $L_{REF}$  に与えることにより、図 2 に示すように、上記光分離・合成器 14 において、上記第 1 の期間  $\tau_1$  及び第 2 の期間  $\tau_2$  の全期間で変調周波数が  $\Delta f$  だけ異なる物体光  $L_{OBJ}$  と参照光  $L_{REF}$  とを合成した干渉光  $L_{DET}$  を得ることができる。なお、上記光検出器 16 による第 1 の期間  $\tau_1$  における干渉光  $L_{DET}$  の検出出力と第 2 の期間  $\tau_2$  における干渉光  $L_{DET}$  の検出出力は、それぞれ互いの時間反転信号となる。また、上記参照光  $L_{REF}$  に与える遅延は  $\tau$  時間でなくても、物体光  $L_{OBJ}$  と参照光  $L_{REF}$  の変調周波数が  $\Delta f$  だけ異なる条件を満たしている期間に光  $L_{DET}$  を得ることができる。

【0024】なお、2 個の光周波数コム発生器を用いて、変調周波数が  $\Delta f$  だけ異なる物体光  $L_{OBJ}$  と参照光  $L_{REF}$  とを個別に発生することも可能であるが、各光周波数コム発生器の温度特性などを厳密に管理するなどの必要があるに対し、本願発明では、このように 1 個の光周波数コム発生器により生成される計測光  $L_{MEAS}$  を参照光  $L_{REF}$  と物体光  $L_{OBJ}$  に分離して用いることによって、1 台の周波数コム発生器を用いた簡単な構成で短時間に且つ安定に測定を行うことが可能な光計測システムを実現

することができる。

【0025】ここでOCTの原理によれば分解能は使用する光源のスペクトル幅で決まる。これは光周波数コムの場合も同じであり、光周波数コムを生成することによって分解能が改善される。そこで、本発明では、上記光周波数コム発生器12により生成された計測光 $L_{meas}$ を図3に示すように光アンプ17で非線形性を発生する程度まで増幅し、SCファイバー18を介して上記光分離・合成器14に入射させるようにする。SCファイバー18とはスーパーコンティニュームファイバの略で例えば分散の小さい自己位相変調を引き起こしやすいファイバである。これにより時間軸の関数ではパルスであるコムは自己位相変調により、スペクトルは拡大し、分解能は高まる。

【0026】ただし、この場合参照光 $L_{ref}$ が遅延して光検出器16に入る間に分散性媒質を通らないことが必要であり、光ファイバー等で遅延を行つた場合には補償する必要がある。この解決方法には2つの方法がある。一つの方法は分散補償可能なデバイス、例えば分散補償ファイバーを用いて補償を行う。もう一つの方法は信号処理の過程で、例えばデジタル信号処理又はアナログ信号処理によって補償を行う。次に説明するOCT装置の実施例ではこの両者の方法を共に含んでいるが、片方の方法だけでもよい。

【0027】図4は、本発明を適用したOCT装置100の実施例を示している。

【0028】このOCT装置100は、計測光生成部110、計測光注入部120、測定部130、信号処理部140及び制御部150からなる。

【0029】上記計測光生成部110は、干渉性を有する光を出射する光源であるレーザ光源111と、このレーザ光源111からレーザ光 $L$ が入射される光周波数コム発生器112と、この光周波数コム発生器112に変調信号を与える変調信号発生部113とからなる。

【0030】レーザ光源111は、単一モードCWレーザであり温度制御等で安定化されている。光周波数コム発生器112は、ファイバー入力、ファイバー出力となっており、位相変調器を2枚の鏡で構成される光共振器の中に入れることで構成されている。この光周波数コム発生器112には、光共振器の自由スペクトル域の整数倍の周波数 $f$ を有する変調信号 $S_{mod}$ が変調信号発生部113により与えられる。

【0031】この光周波数コム発生器112は、レーザ光源111からのレーザ光 $L$ を上記変調信号 $S_{mod}$ で変調することによって計測光 $L_{meas}$ として光周波数コムを生成するが、変調周波数が少し変動しても光周波数コムすなわち計測光 $L_{meas}$ の出力が可能である。なお、計測光生成部110は、光周波数コム発生器でなくても、結果として光周波数コムと同等なキャリア周波数と繰り返し周波数を同等に制御できる同様な出力特性を持つ光

源であれば、それを用いるようにしてもよい。

【0032】上記変調信号発生部113は、周波数が $f$ のマイクロ波信号を発振するマイクロ波発振器113Aと、このマイクロ波発振器113Aの発振出力を位相変調する位相シフタ113Bと、この位相シフタ113Bに位相制御信号を与える位相制御信号発生器113Cからなる。

【0033】位相制御信号発生器113Cは、制御部150のシステムコントローラ151により制御され、例えば図5の(A)に示すように、位相の最大値と最小値の差が $\phi$ を中心として $\Delta\phi_{mod}$ の幅の鋸歯状波状に上記マイクロ波信号の位相を変化させる位相制御信号を上記位相シフタ113Bに与える。上記位相シフタ113Bを介して光周波数コム発生器112に入力される変調信号は、図5の(B)に示すように周波数 $f_{mod}$ を中心とした $\pm\Delta\phi_{mod}/2\pi\tau$ の周波数変調された変調信号 $S_{mod}$ となる。

【0034】なお、上記制御部150のシステムコントローラ151は、上記鋸歯状波状の位相制御信号の傾きが正から負へ、又は負から正へ変化するタイミングを用いて干渉信号をデータとして取り込む時のトリガーとする。

【0035】これにより、後述するように物体光 $L_{obj}$ と参照光 $L_{ref}$ が $\tau$ の時間差を持って光検出器135に到達したとすると、その時点では図5(C)に示すように相対的に周波数差は $\Delta\phi_{mod}$ に比例し、 $\Delta\phi_{mod}/(\pi\tau)$  [Hz]になる。ここで図1と比較すると $\Delta\phi_{mod}/(\pi\tau)$ が $\Delta f$ に対応し $f_{mod} - \Delta\phi_{mod}/(2\pi\tau)$ が $f_{ref}$ に対応している。

【0036】干渉信号 $S_{int}$ が連続的に測定できる深さは、鋸歯状波によって変動する位相の大きさに比例し、本装置では最大 $c\Delta\phi_{mod}/(2n_{obj}\pi f_{mod})$ の深さまで連続的に観測できる。これは例えば図5に示す時刻Aから時刻Bの時間まで測定したとした時の観測できる範囲である。ここで $c$ は光速、 $n_{obj}$ は対象の屈折率である。例えば $\Delta\phi_{mod} = \pi$ 、 $f_{mod} = 6\text{GHz}$ 、 $n_{obj} = 1.5$ である場合1.7cmの深さまで干渉信号 $S_{int}$ が測定できる。図5(C)に示す信号例のように時刻Bから時刻Cの時間では時刻Aから時刻Bまで測定したとした時の信号の時間反転の信号が得られる。

【0037】従来の方法のマイケルソン干渉計でミラーを動かす方法のミラー速度に対応する速度量 $v$ は、 $v = c\Delta\phi_{mod}/(2\pi f_{mod}\tau)$ となる。ここで例えば $f_{mod} = 6\text{GHz}$ 、 $\Delta\phi_{mod} = \pi$ 、 $\tau = 5\mu\text{s}$ とすると、 $v = 5000\text{m/s}$ となり、音速の15倍以上の超高速が実現できる。

【0038】次に、上記計測光生成部110により生成された計測光 $L_{meas}$ を測定部130に入射させる計測光注入部120は、上記計測光 $L_{meas}$ を非線形性を発生する程度まで増幅する光アンプ121を備える。そして、

この光アンプ 121 により増幅された計測光  $L_{mes}$  がスーパーコンティニューム (SC) ファイバー 122 に入射される。この SC ファイバー 122 は、内部で自己位相変調により計測光  $L_{mes}$  すなわち光周波数コムの特長を拡大する。これによって分解能が拡大する。従来同様な方法でスペクトル拡大を行った方法ではスペクトル幅は 30 THz に達しており、分解能を光速 / (2  $n_{scm}$  × スペクトル幅) とすると分解能は 3  $\mu m$  以下となり、高分解能が得られることが分かる。上記 SC ファイバー 122 によりスペクトル拡大し、分解能が高められた計測光  $L_{mes}$  は、その後の行程で自己位相変調が起こらないように、分散の大きい光ファイバー 123 を介してピーク強度を下げて、測定部 130 の光分離・合成器 131 に入射される。

【0039】上記測定部 130 の光分離・合成器 131 では、上記計測光生成部 110 により生成された計測光  $L_{mes}$  を分岐させて一方を参照光  $L_{ref}$  として光遅延路 132 に入射させ、他方を物体光  $L_o$  として分散補償ファイバー 133 からスキャナ 134 を介して測定対象物 OB に照射する。

【0040】上記光遅延路 132 は、分散補償ファイバー 132A、遅延ファイバー 132B、周波数シフタ 132C 及びミラー 132D からなる。この光遅延路 132 に入射された参照光  $L_{ref}$  は、分散補償ファイバー 132A、遅延ファイバー 132B 及び周波数シフタ 132C を通過してミラー 132D により反射され、再び周波数シフタ 132C、遅延ファイバー 132B 及び分散補償ファイバー 132A を介して上記光分離・合成器 131 に入射される。周波数シフタ 132C は、参照光  $L_{ref}$  の周波数を往復で  $f_s$  だけシフトさせる。これによりドップラーシフトと等価の周波数シフトを参照光  $L_{ref}$  に発生させる。このように、周波数シフタ 132C により参照光  $L_{ref}$  を  $f_s$  で変調しておくことにより、後述するように干渉信号  $S_{det}$  を交流信号として検出して位相情報を得ることができ、また、 $f_s$ 、 $\pm m \Delta f$  の周波数成分を識別することができる。

【0041】また、上記光分離・合成器 131 により分離された物体光  $L_o$  は、分散補償ファイバー 133 からスキャナ 134 を介して測定対象物 OB に照射された物体光  $L_o$  は、スキャナ 134 及び分散補償ファイバー 133 を介して上記光分離・合成器 131 に入射される。

【0042】ここで、上記光遅延路 132 により参照光  $L_{ref}$  に与えられる遅延時間は、上記光分離・合成器 131 により分離された物体光  $L_o$  が測定対象物 OB に反射されて当該光分離・合成器 131 に戻ってくるのに要する遅延時間に比べて  $\tau$  だけ大きくなるように各ファイバの長さが設定されている。なお、分散補償ファイバー 132A、133 は、遅延ファイバー 132B の特性、あるいは信号処理系の構成により、

1: 必要がない、

2: どちらかが必要、

3: 両方が必要

となる場合があるが遅延ファイバー 132B の分散を補償するように分散と長さが設定され、干渉信号への影響を最小にするようにする。

【0043】ここで、分散補償ファイバー 132A、133 は参照光  $L_{ref}$  が経験する経路上の分散と、物体光  $L_o$  が経験する経路上の分散が異なる場合にそれを等価にするは働きをする。例えば遅延ファイバー 132B が正の分散の場合では、例えば分散補償ファイバ 132A に負の分散の光ファイバーを用い、例えば高次の分散を分散補償ファイバ 133 を用いて補償する。これによって遅延ファイバー 132B による分散の干渉信号に対する影響を低減し分解能の劣化を低減することが可能である。

【0044】例えば、遅延ファイバー 132B の長さ、屈折率、1 次及び 2 次の群速度分散をそれぞれ  $L_c$ 、 $n_c$ 、 $k_{2c}$  及び  $k_{3c}$  とし、また、分散補償ファイバ 132A の長さ、屈折率、1 次及び 2 次の群速度分散をそれぞれ  $L_o$ 、 $n_o$ 、 $k_{2o}$  及び  $k_{3o}$  とし、さらに、分散補償ファイバ 133 の長さ、屈折率、1 次及び 2 次の群速度分散をそれぞれ  $L_e$ 、 $n_e$ 、 $k_{2e}$  及び  $k_{3e}$  とすると、遅延時間  $\tau$  を得る条件

$$\tau = 2 (L_c n_c + L_o n_o - L_e n_e) / C$$

1 次の群速度分散を補償する条件

$$0 = L_c k_{2c} + L_o k_{2o} - L_e k_{2e}$$

2 次の群速度分散を補償する条件

$$0 = L_c k_{3c} + L_o k_{3o} - L_e k_{3e}$$

の 3 連の連立方程式をとき  $L_c$ 、 $L_o$  及び  $L_e$  をそれぞれ決定すれば良い。より高次の分散を補償することも可能である。またここでは光ファイバーを用いた例を示したが、ブラックリフレクター等を用いて分散を補償したり、プリズムペアなどを用いて空間的に分散を補償してもよい。

【0045】また、スキャナ 134 は、測定部 130 の光分離・合成器 131 から分散補償ファイバ 133 を介して物体光  $L_o$  が入射される。このスキャナ 134 は、制御部 150 のスキャナ制御信号発生器 152 により与えられるスキャナ制御信号に従って測定対象物 OB の表面で物体光  $L_o$  を走査する。また、スキャナ 134 は、測定対象物 OB の内部で反射した物体光  $L_o$  が入射され、この物体光  $L_o$  を分散補償ファイバ 133 を介して測定部 130 の光分離・合成器 131 に戻す。

【0046】上記スキャナ 134 は、例えば図 6 に示すように、上記分散補償ファイバ 133 からファイバコリメーター 134A を介して入射されレンズ 134D を介して測定対象物 OB に照射する物体光  $L_o$  について、第 1 のポリゴンミラー 134B により図の紙面垂直方向のスキャンを行い、さらに、第 2 のポリゴンミラー 134C により図の紙面と平行方向のスキャンを行う。また、



スキャナ 134 は、例えば図 7 に示すように、第 1 及び第 2 のポリゴンミラー 134B、134C に代えて、音響光学素子 134F を用いて紙面と垂直方向及び平行方向のスキャンを行うようにしても良い。音響光学素子 134F を用いてスキャンする場合には、音響光学素子が光の周波数シフトを起こすことがある。その場合、スキャナ 134 による周波数シフトの効果を干渉信号から除く必要がある。例えば信号処理部 140 でスキャナ 134 による周波数シフトの効果は制御部 150 の信号より推定し、干渉信号より除去する。また、図 7 に示すように、別の周波数シフト補正用音響光学素子 134E で、ハードウェア上で周波数シフト補正用の AOM を用いて周波数シフトをなくしても良い。

【0047】以上説明では、深さ方向のスキャンを電氣的に行っているが、物体の左右方向のスキャンは機械的、音響光学的に行っている。そのため、最終的な OCT 装置の動作速度はこのスキャン速度で決まる。このようなスキャナ 134 を使用せずに OCT 装置を構成することもできる。

【0048】すなわち、図 8 に示すように、計測光注入部 120 から光ファイバー 123 を介して測定部 130 の光分離・合成器 131 に入射される計測光  $L_{me}$  を上記光ファイバー 123 から空間伝搬させコリメータレンズ 136A により平行光にして上記光分離・合成器 131 に入射させるようにする。ここで、計測光  $L_{me}$  を平行光にするコリメータレンズ 136A は適当な焦点距離を選び、物体光  $L_o$  を対象物 OB 全体に照射するようにする。一方参照光  $L_{ref}$  は、同様に拡大した平行ビームとされ、コリメータレンズ 136B を介して光遅延路 132 に入射される。光分離・合成器 131 では、測定対象物 OB から反射した物体光  $L_o$  のうち、同じ経路で戻ってきた光に対し参照光  $L_{ref}$  と干渉するように設置したハーフミラーにより物体光  $L_o$  を参照光  $L_{ref}$  と合成することにより干渉光  $L_{int}$  を生成する。そして、干渉光  $L_{int}$  を光検出器アレイ 135A で検出する。

【0049】この時例えば点 P と点 P' の経路で測定対象物 OB に照射され、反射してきた物体光  $L_o$  は光検出器アレイ 135A 上の違う点で参照光  $L_{ref}$  とそれぞれ干渉し干渉光  $L_{int}$  を発生する。その光検出器アレイ 135A 上の異なる 2 点では異なる光検出素子が存在し、それぞれ独立に干渉信号  $S_{int}$  を得ることができる。この光検出器アレイ 135A のそれぞれの時間波形を、例えば図 5 の時刻 A から時刻 B までの信号を同時に記録しておく。光検出器アレイ 135A のそれぞれの光検出器では、測定対象物 OB のそれぞれの点で反射された物体光  $L_o$  と参照光  $L_{ref}$  との干渉光  $L_{int}$  を検出して、それぞれ独立に干渉信号  $S_{int}$  を得ることができ、これより測定対象物 OB の内部情報が得られる。

【0050】したがってこの方法を用いると、対象にビームスキャンを行わなくても同時に測定対象物 OB の 2

次元方向の情報を得ることができる。また参照光  $L_{ref}$  と物体光  $L_o$  に光周波数コムを用いることにより、高速に深さ方向の情報を得ることができる。したがって、機械的、音響光学的な方法を一切用いずにさらに高速に対象の 3 次元情報を得ることができる。

【0051】例えば本光周波数コムを用いた場合で、本方法の 1 回の測定に要する時間は  $\tau$  となる。したがって例えば  $\tau = 5 \mu s$  として超高速測定が実現できる。

【0052】なお、図 9 に示すように、レンズ 136C、136D、136E、136F を用いて測定対象物 OB 全体に物体光  $L_o$  を照射し、測定対象物 OB の光学像を光検出器アレイ 135A 上に結像する構成にし、参照光  $L_{ref}$  は平行ビームとして光検出器アレイ 135A 上に照射される構成にすると、測定対象物 OB が大きく、遠くから光を照射しなければならない場合でも使用できる。

【0053】また、図 4 に示した OCT 装置 100 において、信号処理部 140 には、上記光検出器 135 により検出された  $f_s$  で変調された参照光  $L_{ref}$  と物体光  $L_o$  の干渉光  $L_{int}$  の検出力として得られる干渉信号  $S_{int}$  が入力される。

【0054】この信号処理部 140 では、バンドパスフィルタ等により余計な雑音が除去され、増幅され、さらに  $f_s$  で変調された干渉信号  $S_{int}$  は例えばその後の信号処理のしやすいように周波数変換され、A/D 変換されデジタル化される。この後、例えば以下の幾つかの信号処理を行う。

【0055】1. 例えば干渉信号  $S_{int}$  は長い遅延ファイバー 132B を通過し光ファイバーの分散の影響により信号が乱れ例えば分解能が低減している場合がある。その場合には、それを補正する処理を行う。デジタル化された信号は、例えば、予め遅延ファイバー 132B 等の分散の影響を光ファイバーの構造から計算しておき、信号を分散の影響の低減した信号に変換する計算を施す。又は予め金属ミラーなどの単純な反射測定を持つサンプルを用いて測定した結果から、信号を分散の影響の低減した信号に変換する計算を施す。

【0056】ここで、後者の例について説明する。光周波数コム発生器 112 で出力された計測光の m 次のサイドバンドの複素振幅は

$$E_m(t) = E_m \exp(i 2 \pi \nu t + i 2 \pi m f_s t + i m \phi(t))$$

と表せられる。i は素数である。分散補償ファイバ 132A、133 の長さを 0、遅延ファイバー 132B の長さを L とすると、群速度分散の 2 次以降の成分を無視すると先の光が光ファイバーを伝搬してきた後では

$$E_m' \exp(i 2 \pi \nu t + i 2 \pi f_s t + i 2 \pi m f_s t - i k_{oc} L_c - i k_{ic} L_c (2 \pi m f_s) - i k_{ic} L_c (2 \pi m f_s)^2 / 2 + i m \phi(t - \tau))$$

と表せられる。したがって測定対象物 OB がミラーであ

る場合  $m$  次のサイドバンド同士の干渉信号は

$$\text{Re}[E_s \cdot E_s^* \exp(i 2 \pi f_s t - i k_{0c} L_c - i k_{1c} L_c (2 \pi m f_s) - i k_{2c} L_c (2 \pi m f_s)^2 / 2 + i m (\phi(t - \tau) - \phi(t)))]$$

となる。ここで  $t$  が 0 から  $\tau$  までの時間の間  $\phi(t - \tau) - \phi(t) = -2 \Delta \phi_{\text{sc}} / \tau t$  であり、

$$2 \Delta \phi_{\text{sc}} / \tau = 2 \pi \Delta f$$

とおくと信号は

$$E_s \cdot E_s^* \cos(2 \pi (f_s - m \Delta f) t - k_{0c} L_c - k_{1c} L_c (2 \pi m f_s) - k_{2c} L_c (2 \pi m f_s)^2 / 2))$$

に比例する干渉信号となる。干渉信号をフーリエ変換することによって、信号成分のなかで、 $f_s - m \Delta f$  の周波数成分が光の  $\nu + m f_s$  の周波数の位相成分を持っており、これを他の周波数成分と比較測定すれば 1 次の群速度分散  $k_{2c}$  の値が、決定できる。したがって実際の測定から  $\exp(i k_{2c} L_c (2 \pi m f_s)^2 / 2))$  を干渉信号のフーリエ変換した値に乗ずれば分散を補正した結果が得られる。

【0057】2. 例えば信号に含まれる高周波数成分 ( $f_s$  から遠い成分。  $m$  の絶対値が大きい成分。) を強調する処理を行い、分解能の向上した信号に変換する計算を施す。

【0058】3. 例えば信号の  $f_s$  で変調された干渉信号の周波数の変化量を信号から計算し、ドップラシフト量を求めることにより、対象物体の速度を得る。

【0059】4. 例えば干渉信号のスペクトル形状から波長毎の光の吸収量を測定し対象物体の屈折率等を求める。

【0060】5. 干渉信号のエンベロープを計算する。

【0061】以上の情報から、測定対象物の形状、速度分布、屈折率分布などを総合的に求めることができる。

【0062】ここでは干渉信号に含まれる分散の補償方法としてデジタル計算による手法を説明したが分散性の素子である SAW デバイスなどのアナログ素子を用いても良い。

【0063】6. スキャナ 134 に図 7 のように音響光学素子 134F を用いてスキャンした場合では、音響光学素子 134F が光の周波数シフトを起こす場合がある。その場合、スキャナ 134 による周波数シフトの効果を干渉信号から除く必要がある。スキャナ 134 による周波数シフトの効果はシステムコントローラ 151 の信号より推定し、干渉信号より除去する。

【0064】さらに、図 4 に示した OCT 装置 100 において、制御部 150 では、システムコントローラ 151 により上記信号処理部 140 により処理された信号と、上記計測光生成部 110 の位相制御信号発生器 113C、上記測定部 130 のスキャナ 134 に与えるスキャナ制御信号を発生するスキャナ制御信号発生器 152 への制御信号を統合し、使用者の行った入力に応じて画像等として人の認知するデータ形式に変換して画像

出力装置 153 に信号をおくる。例えば立体像、断面像を動画出力する。

【0065】ここで、図 4 に示した OCT 装置 100 では、往復で  $\tau$  時間の遅延量を与える光遅延路 132 を用いたが、図 10 に示すように、片道で  $\tau$  時間の遅延量を与える光遅延路 132 を用いる構成とすることもできる。

【0066】図 10 に示す OCT 装置 200 では、上述の光分離・合成器 131 に代えて光分離器 231A と光合成器 231B を設け、光分離器 231A により計測光  $L_{\text{me}}$  を参照光  $L_{\text{ref}}$  と物体光  $L_{\text{ob}}$  に分離する。この光分離器 231A により計測光  $L_{\text{me}}$  から分離された参照光  $L_{\text{ref}}$  は、片道で  $\tau$  時間の遅延量を与える光遅延路 232 により  $\tau$  時間の遅延量を与えられて、アイソレータ 232D を介して光合成器 231B に入射される。この光遅延路 232 は、分散補償ファイバー 232A、遅延ファイバー 232B、周波数シフタ 232C 及びアイソレータ 232D により構成されている。また、この光分離器 231A により計測光  $L_{\text{me}}$  から分離された物体光  $L_{\text{ob}}$  は、分散補償ファイバー 233 からアイソレータ 234 を介して光合成器 231B に入射され、この光合成器 231B を通過してスキャナ 134 に入射される。この OCT 装置 200 において、他の構成要素は上述の OCT 装置 100 と同じであるので、図 10 中に同一番号を付して示し、その詳細な説明を省略する。

【0067】以上、本発明について、任意の波長域における広いスペクトル幅を必要とする光計測システムに関するもののうち OCT 装置に代表される空間的高分解能な測定を実現するための光計測システムに関して説明したが、本発明は、それ以外にも光周波数分解能が高い事が必要とされる測定装置にも応用される。

【0068】OCT 装置は、空間的な分解能を測定する装置であるが、同時に対象の光の波長の違いによる応答特性、位相特性を測定できる。

【0069】例えばスキャナを用いないで測定対象物に光ファイバーで結合されているような光デバイス等の反射の波長依存特性の測定にも使用できる。

【0070】この場合光周波数  $\omega$  の変調周波数に等しい高分解能の測定を短時間で実現できる。

【0071】例えば  $m$  次のサイドバンドが物体から反射し、複素振幅がサンプルの伝達関数  $A_s = A(\nu + m f_s)$  によって  $E_s$  から  $A_s E_s^*$  に変化する。これから得られる信号の  $m$  次の周波数成分に対応する部分は  $\text{Re}[A_s E_s \cdot E_s^* \exp(i 2 \pi f_s t - i k_{0c} L - i k_{1c} L (2 \pi m f_s) - i k_{2c} L (2 \pi m f_s)^2 / 2 + i m (\phi(t - \tau) - \phi(t)))]$  となる。この成分は例えば  $\phi(t - \tau) - \phi(t) = -2 \Delta \phi_{\text{sc}} / \tau t = 2 \pi \Delta f t$  で表せる場合、電気的な信号の  $f_s - n \Delta f$  の周波数成分をフーリエ変換で求め、 $E_s$  及び遅延ファイバーの分散等を予め測定しておく

とで  $A_{\text{。}}$  だけが決定できる。

【0072】また、例えば図11に示す構成とすることにより、フィルタ等の透過型デバイスの測定にも使用できる。

【0073】この図11に原理的な構成を示す光デバイスの透過測定装置20は、可干渉性を有する光 $L_{\text{。}}$ を出射する光源であるレーザ光源21と、このレーザ光源11からレーザ光 $L_{\text{。}}$ が入射される光周波数コム発生器22と、この光周波数コム発生器22に与える変調信号 $S_{\text{。}}$ を発生する変調信号発生器23と、この変調信号発生器23により生成された計測光 $L_{\text{。}}$ を参照光 $L_{\text{。}}$ と物体光 $L_{\text{。}}$ に分離する光分離器24と、この光分離器24により分離された参照光 $L_{\text{。}}$ に所定時間 $\tau$ の遅延を与える光遅延路25と、上記光分離器24により分離された計測光 $L_{\text{。}}$ が測定対象物OBを介して入射されるとともに、上記光遅延路25により所定時間 $\tau$ の遅延を与えられた参照光 $L_{\text{。}}$ が入射される光合成器26と、上記光合成器24により合成された参照光 $L_{\text{。}}$ と物体光 $L_{\text{。}}$ との干渉光 $L_{\text{。}}$ の光強度の変化を検出する光検出器27とからなる。

【0074】このような構成の光デバイスの透過測定装置20では、測定対象物OBとしてフィルタ等の透過型デバイスの測定を行うことができ、光デバイス等の透過反射特性の測定を高分解能、高速に行うことができる。

【0075】さらに、図12に示す光デバイス測定装置300は、上述の図10に示すOCT装置200を変形して、光デバイスの反射測定と透過測定を行うようにしたもので、スキャナ134及びスキャナ制御信号発生器152が除かれ、第2の光分離器331A、第2の光合成器331B及び第2の光検出器335が設けられている。

【0076】この光デバイス測定装置300において、第2の光分離器331Aは、上記アイソレータ232Dを介して光合成器231Bに入射される参照光 $L_{\text{。}}$ をさらに分岐して第2の参照光 $L_{\text{。}}$ を生成し、この第2の参照光 $L_{\text{。}}$ を第2の光合成器331Bに入射させる。この第2の光合成器331Bは、測定対象物OBを通過した物体光 $L_{\text{。}}$ が入射され、上記第2の参照光 $L_{\text{。}}$ と物体光 $L_{\text{。}}$ を合成して第2の干渉光 $L_{\text{。}}$ を生成し、この第2の干渉光 $L_{\text{。}}$ を第2の光検出器335に入射させる。この第2の光検出器335は、上記第2の干渉光 $L_{\text{。}}$ の光強度の変化を検出し、その検出出力として得られる透過測定用の第2の干渉信号 $S_{\text{。}}$ を信号処理部140に供給する。

【0077】この光デバイス測定装置300において、他の構成要素は上述のOCT装置200と同じであるので、図12中に同一番号を付して示し、その詳細な説明を省略する。

【0078】このような構成の光デバイス測定装置300では、透過反射特性の測定を同時に高分解能、高速に

行うことができる。また特定対象物OBの入出力を反転させた構成での測定を行えば、光デバイスのSパラメータの測定ができる。

【0079】

【発明の効果】以上詳細に説明したように、本発明によれば、光周波数コム発生手段において、第1の期間 $\tau_1$ には第1の周波数 $f_1$ で第2の期間 $\tau_2$ には第2の周波数 $f_2 + \Delta f$ の変調信号を所定の繰り返し周期で生成する変調信号生成手段からの変調信号により、光源から可干渉性を有する入射光を変調して、上記入射光の周波数を中心周波数とし、上記第1の期間 $\tau_1$ には第1の周波数 $f_1$ 間隔毎に側帯波を有し、第2の期間 $\tau_2$ には第2の周波数 $f_2 + \Delta f$ 間隔毎に側帯波を有する計測光を生成し、生成した計測光を光分離手段により参照光と物体光に分離して、光遅延手段により所定時間の遅延上記参照光に与え、上記物体光の測定対象物による反射光又は透過光と上記光遅延手段により所定時間の遅延が与えられた参照光とを光合成手段で合成することにより、上記参照光と物体光との干渉光を生成し、この干渉光の光強度の変化を検出手段で検出ことによって、1台の周波数コム発生器を用いた簡単な構成で短時間に且つ安定に空間的高分解能な測定を行うことができる。

【0080】さらに、上記光分離手段により分離された物体光の照射位置を測定対象物上で走査し、上記検出手段からの干渉検出結果に基づいて、測定対象物の形状情報を検出する形状検出手段で生成される複数の形状情報を用いて、画像生成手段により測定対象物の形状を示す画像を生成することによって、1台の周波数コム発生器を用いた簡単な構成で短時間に且つ安定に空間的高分解能な測定を行うOCT装置として機能する光計測システムを実現することができる。

【0081】

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明を適用したOCT装置の原理的な構成を示すブロック図である。

【図2】上記OCT装置における物体光と参照光の時間的な時間的変化を示す図である。

【図3】分解能を高めるようにしたOCT装置の原理的な構成を示すブロック図である。

【図4】本発明を適用したOCT装置の実施例の構成を示すブロック図である。

【図5】上記OCT装置の計測光生成部における変調信号発生部の動作を模式的に示す図である。

【図6】上記OCT装置の測定部におけるスキャナの構成例を模式的に示す図である。

【図7】上記スキャナの他の構成例を模式的に示す図である。

【図8】スキャナを使用せずにOCT装置を構成する場合の要部構成例を模式的に示す図である。

【図9】スキャナを使用せずにOCT装置を構成する場合の

17

合の他の要部構成例を模式的に示す図である。

【図10】本発明を適用したOCT装置の他の構成例を示すブロック図である。

【図11】本発明を適用した光デバイスの透過測定装置の原理的な構成を示すブロック図である。

【図12】本発明を適用した光デバイス測定装置の構成例を示すブロック図である。

【図13】従来のOCT装置の構成を示すブロック図である。

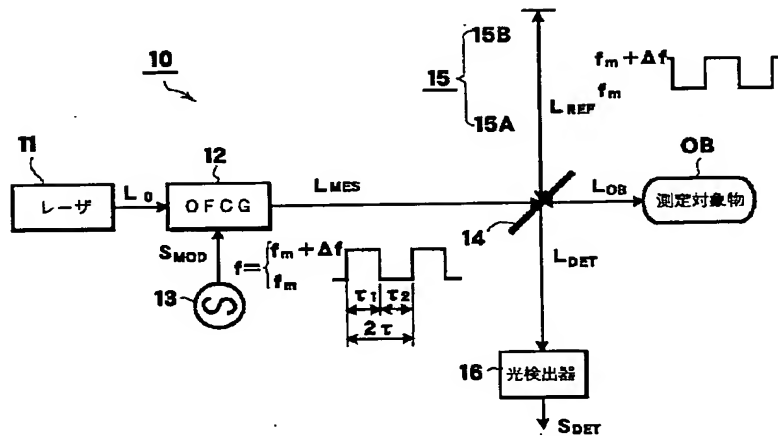
【符号の説明】

10 OCT装置、11 レーザ光源、12 光周波数コム発生器、13 変調信号発生器、14 光分離・合成器、15 光遅延路、16 光検出器、17 光アンプ、18 SCファイバー、OB 測定対象物、20 透過測定装置、21 レーザ光源、22 光周波数コム発生器、23 変調信号発生器、24 光分離器、25 光遅延路、26 光合成器、27 光検出器、10\*

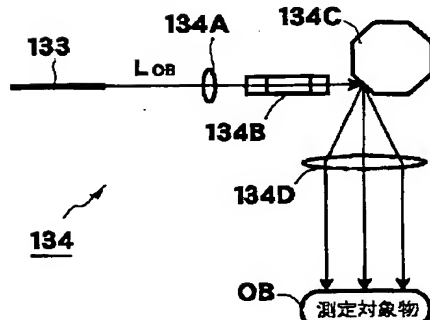
18

\*0 OCT装置、110 計測光生成部、111 レーザ光源、112 光周波数コム発生器、113 変調信号発生部、113A マイクロ波発振器、113B 位相シフタ、113C 位相制御信号発生器、120 計測光注入部、121 光アンプ、122 SCファイバー、130 測定部、131 光分離・合成器、132 光遅延路、133 分散補償ファイバー、134 スキャナ134、130 測定部、132A 分散補償ファイバー、132B 遅延ファイバー、132C 周波数シフタ、132D ミラー132D、140 信号処理部、150 制御部、151 システムコントローラ、152 スキャナ制御信号発生器、153 画像出力装置、200 OCT装置、231A 光分離器、231B 光合成器、232 光遅延路、232D アイソレータ、232C 周波数シフタ、300 光デバイス測定装置、331A 第2の光分離器、331B 第2の光合成器、335 第2の光検出器

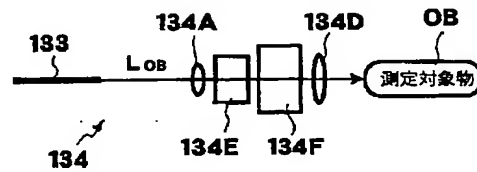
【図1】



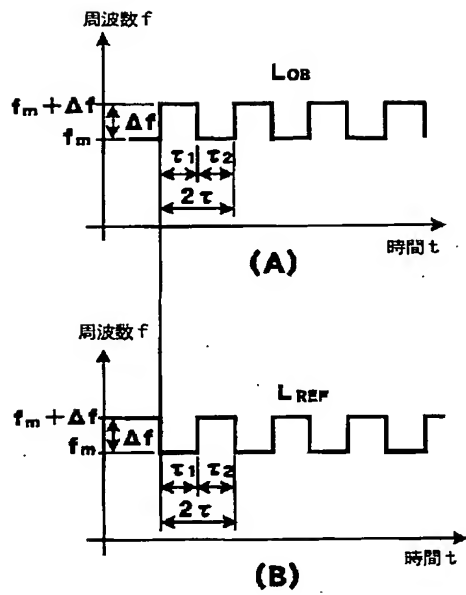
【図6】



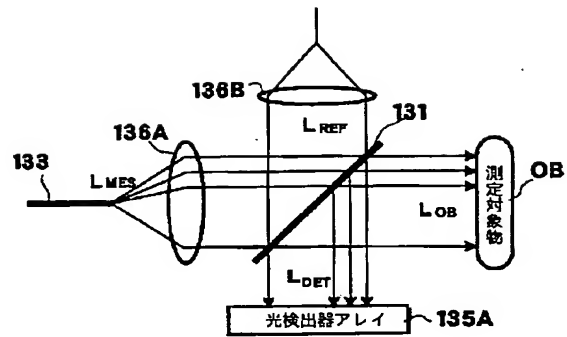
【図7】



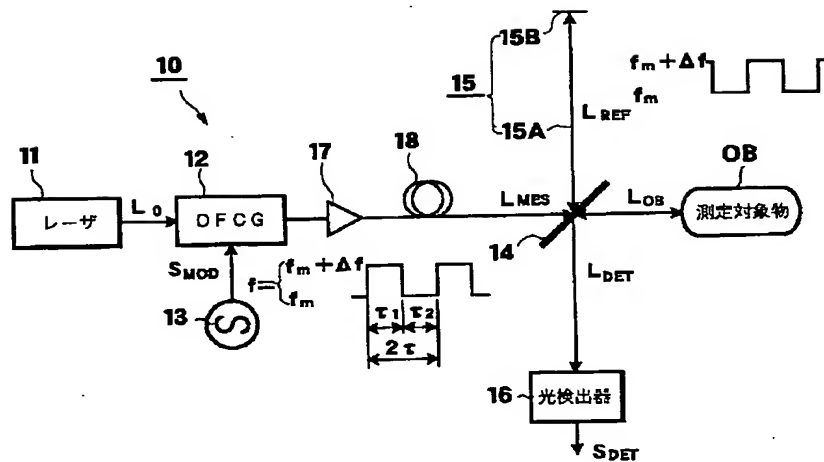
【図2】



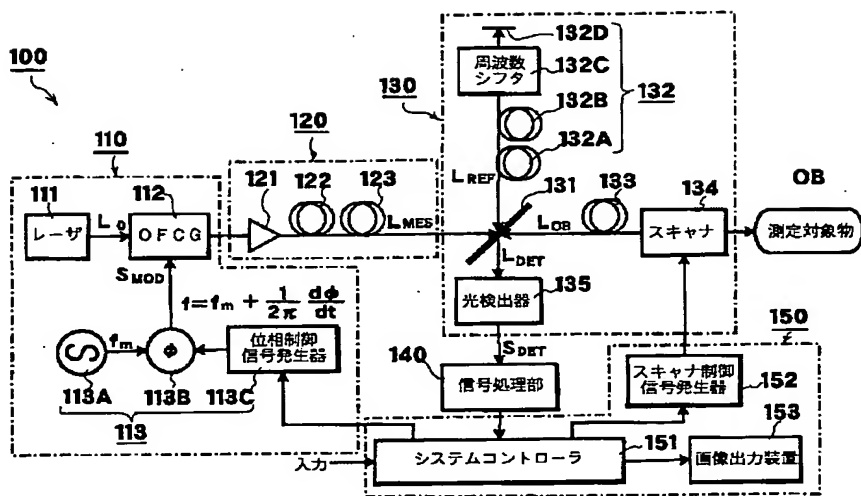
【図8】



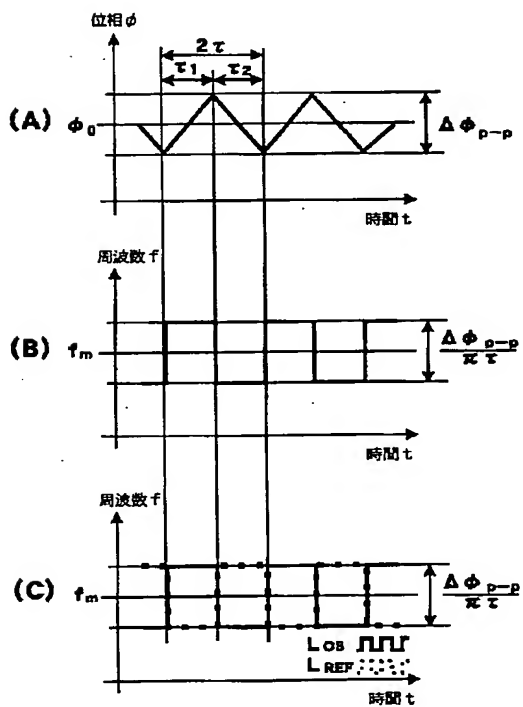
【図3】



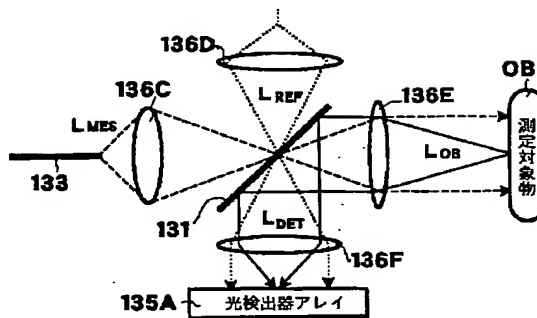
【图4】



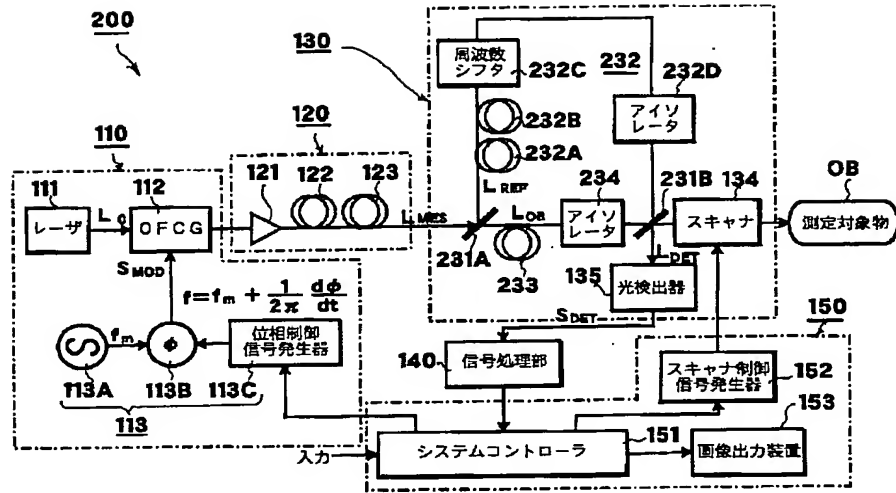
【図5】



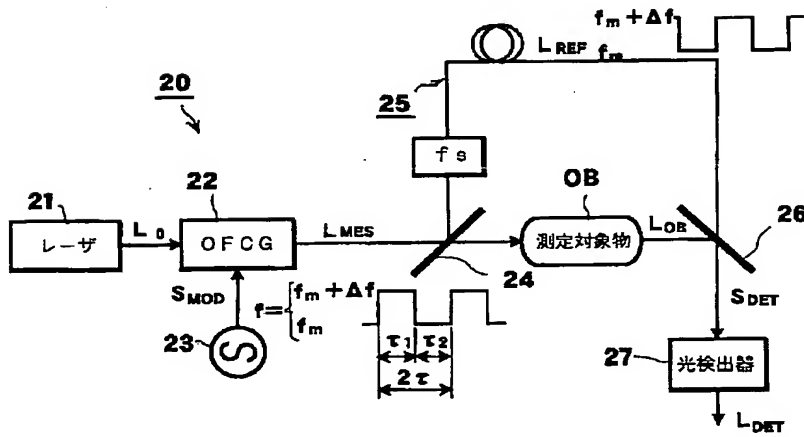
【図9】



【図10】



【図11】



[illegible]



## フロントページの続き

Fターム(参考) 2F064 AA15 CC04 FF01 GG02 GG12  
GG22 GG51 GG55 GG70 JJ03  
JJ15  
2F065 AA52 BB05 CC16 DD03 FF51  
GG04 JJ01 LL02 LL12 LL53  
LL57 MM16 MM26 NN08 QQ03  
QQ16 QQ29  
2G059 AA05 EE09 FF01 GG01 GG06  
JJ11 JJ13 JJ17 JJ30 KK01  
MM01 MM09